

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION****ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОРОЖНЬОЇ  
КОНСТРУКЦІЇ З ПОПЕРЕЧНИМИ ДРЕНАЖАМИ  
МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ****Славінська О. С.,***д-р техн. наук, професор, Кафедра транспортного будівництва та управління майном,  
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9709-0078>***Бубела А. В.,***канд. техн. наук, доцент, Кафедра транспортного будівництва та управління майном,  
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>***Бондаренко Л. П.,***канд. техн. наук, доцент, Кафедра транспортного будівництва та управління майном,  
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8239-065X>***Чечуха О. С.,***канд. техн. наук, доцент, Кафедра транспортного будівництва та управління майном,  
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна  
ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1643-6354>***DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/31052020/7088](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7088)****ARTICLE INFO****Received:** 17 March 2020**Accepted:** 12 May 2020**Published:** 31 May 2020**KEYWORDS**Road,  
shallow drainage,  
transport and maintenance status,  
expert method,  
optimal design**ABSTRACT**

Optimal engineering solutions are not always available in the design of road pavement, resulting in large losses in road construction. The justification of the optimal design should be based on an analysis of the range of natural conditions. An assessment of the range of technical and technological parameters determining the work of shallow drainage structures is carried out by means of a collective expert assessment carried out by means of questionnaires from leading experts in the sector. A target function has been defined for finding the most optimal design of shallow drainage under two groups of criteria: estimated cost and a set of technical and technological indicators, which are characterized by the efficiency of its operation. Of the eight proposed shallow drainage structures, the best engineering design was validated and recommended at the lowest estimated cost.

**Citation:** Slavinska O. S., Bubela A. V., Bondarenko L. P., Chechuha O. S. (2020) Determination of the Optimal Road Construction with Transverse Drainage of Small Laying. *International Academy Journal Web of Scholar*. 5(47). doi: 10.31435/rsglobal\_wos/31052020/7088

**Copyright:** © 2020 Slavinska O. S., Bubela A. V., Bondarenko L. P., Chechuha O. S. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

**Вступ.** Для асфальтобетонних покриттів вкрай важливо запобігти проникненню води в дорожню конструкцію, що є одним з суттєвих факторів, який впливає на її надійність та довговічність. У роботі [1] було проведено довготривалі натурні дослідження з метою отримання польових даних про міграцію води в покриттях. Проводились вивчення впливу

вологи на характеристики дренажної траншеї з щебню, але не було в якості методу, який дозволяє регулювати та зменшувати вологість дорожньої конструкції, влаштування дренажів мілкового закладання (ДМЗ) в роботі не досліджувались.

Проникненню води в дорожню конструкцію та, відповідно, підвищенню її вологості сприяє наявність тріщин в дорожньому покритті. У роботі [2] була запропонована модель для кількісного визначення водного балансу між поверхневими водами і дренажним шаром в дренажній конструкції для оцінки ступеня водопроникнення. Результати кількісного аналізу показали, що проникнення в дорожню конструкцію пропорційне ширині розкриття тріщини, довжині тріщини, товщині дренажного шару і водопроникності шарів дорожнього одягу; навпаки, проникнення в шари дорожнього одягу обернено пропорційне відстані між тріщинами, товщині поверхні і водопроникності дренажного шару.

Вплив інтенсивності і тривалості дощових опадів на характеристики розподілу вологості в дорожній конструкції було проаналізовано китайськими вченими в роботі [3] шляхом побудови чисельної та фізичної моделей. При цьому інтенсивність дощових опадів значно перевищувала коефіцієнт водопроникності ґрунтів, тим самим демонструючи ефект затримання вологи. Інтенсивність впливає на збільшення розмірів зони інфільтрації дорожньої конструкції. Переривчасті опади менше впливають на розподіл полів вологості в дорожній конструкції, ніж безперервні. Лишається відкритим питання розподілу полів вологості саме в дренажних системах мілкового закладання, як під впливом переривчастих, так і безперервних опадів.

При проектуванні дорожніх одягів не завжди мають місце оптимальні інженерні рішення, що призводить до великих збитків в дорожньому будівництві. Обґрунтування оптимальної конструкції повинно базуватися на аналізі комплексу природних умов.

Проектування оптимальних дорожніх конструкцій з дренажами мілкового закладання базується на трьох основних принципах. Це забезпечення міцності, зсувостійкості та морозостійкості дорожнього одягу за умови мінімальної кошторисної вартості, яка містить в собі суму наведених капітальних вкладень в дорожнє будівництво і витрат на експлуатаційне утримання дороги. До кожного рівноцінного за міцністю варіанту дорожньої конструкції підбирають дренаж мілкового закладання, виходячи з типу зволоження робочого шару земляного полотна, ґрунтово-гідрологічних і кліматичних умов, рельєфу місцевості, наявності та властивостей місцевих дорожньо-будівельних матеріалів. Такі конструктивні заходи з регулювання водно-теплогового режиму повинні забезпечувати невеликий, заздалегідь обраний проектний діапазон коливань вологості ґрунту та прийнятий розрахунковий модуль пружності і, в даних природних умовах, найменшу кошторисну вартість комплексної дорожньої конструкції. Відповідно до цього, наступним кроком проведення майбутніх досліджень є пошук оптимальних проектних рішень.

Метою даної роботи є розробка методу визначення найбільш оптимальної конструкції дренажу мілкового закладання за 2-а критеріями: кошторисною вартістю та сукупністю техніко-технологічних показників, що визначають ефективність її роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити цільову функцію для пошуку найбільш оптимальної конструкції ДМЗ за її кошторисною вартістю та техніко-технологічними характеристиками, що визначають ефективність її роботи;

- за методом колективної експертної оцінки провести математичну обробку даних анкетного опитування експертів у галузі дорожнього будівництва для виявлення та ранжування сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу конструкцій ДМЗ;

- із восьми запропонованих конструкцій ДМЗ обґрунтувати та вибрати найбільш оптимальну з найкращими техніко-технологічними характеристиками при її мінімальній кошторисній вартості.

Розглянемо  $n$  конструкцій ДМЗ, які характеризуються певним набором критеріїв, за якими необхідно їх оцінити та обрати найбільш оптимальну. Ці критерії умовно можна поділити на 2 групи: кошторисну вартість конструкції ДМЗ та техніко-технологічні параметри, що характеризують ефективність її роботи.

Найбільш оптимальною будемо вважати таку конструкцію ДМЗ, що матиме найкращі техніко-технологічні характеристики при її мінімальній кошторисній вартості.

Тобто, сума критеріїв другої групи (техніко-технологічні) повинна бути максимальною, а кошторисна вартість – мінімальною.

Математично задача пошуку найбільш оптимальної конструкції ДМЗ зводиться до мінімізації наступної цільової функції:

$$F(C_i, Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n P_{ij}}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість конструкцій ДМЗ, прийнятих до порівняння;

$C_i$  – кошторисна вартість  $i$ -тої конструкції ДМЗ,

$P_{ij}$  – значення  $j$ -того техніко-технологічного параметра для  $i$ -тої конструкції ДМЗ.

Оцінку сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу конструкцій ДМЗ пропонується провести методом колективної експертної оцінки [4]. В рамках даного підходу до анкетування необхідно залучити провідних експертів у галузі дорожнього будівництва.

Оцінку експертом відносної важливості факторів, що визначають роботу конструкцій ДМЗ пропонується здійснювати шляхом присвоєння їм деякої кількості балів  $C_{ij}$  в межах від 0 до 100. Нуль присвоюється у тому випадку, якщо фактор, на думку експерта, немає суттєвого значення; 100 балів присвоюється тому фактору, який має найважливіше, вирішальне значення. Експерт має можливість надати однакову кількість балів декільком факторам, якщо на його думку вони рівнозначні, однаково суттєві. Нарешті, експерт має можливість додатково включити до переліку нові фактори, якщо він вважав, що вони суттєво впливають на важливість досліджуваного показника.

На основі отриманих від експертів балівних оцінок формується матриця (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця балів експертної оцінки

Фактори	Експерти				
	1	2	3	...	$m$
1	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	...	$C_{1m}$
2	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	...	$C_{2m}$
3	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$	...	$C_{3m}$
...	...	...	...	...	...
$n$	$C_{n1}$	$C_{n2}$	$C_{n3}$	...	$C_{nm}$

Таблицю (матрицю) балів далі необхідно перетворити у таблицю (матрицю) рангів  $R_{ij}$  (табл. 2). Ранжування пропонується провести наступним чином. Ранг, рівний одиниці, присвоювати найбільш важливому фактору; ранг з числом  $n$  – найменш важливому фактору. Якщо експерт надає однакову кількість балів декільком факторам, то їм присвоювати стандартизовані ранги за методом середнього.

Таблиця 2. Матриця рангів експертної оцінки

Фактори	Експерти				
	1	2	3	...	$m$
1	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	...	$R_{1m}$
2	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	...	$R_{2m}$
3	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	...	$R_{3m}$
...	...	...	...	...	...
$n$	$R_{n1}$	$R_{n2}$	$R_{n3}$	...	$R_{nm}$

Сума рангів, призначених експертами  $j$ -му фактору, визначається за формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}. \quad (2)$$

Очевидно, що чим менша сума рангів, тим важливішим є певний фактор і навпаки. Середній ранг для кожного фактора досліджування можна визначити наступним чином:

$$\bar{S}_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^m R_{ij}. \quad (3)$$

Водночас, з середніми рангами для кожного досліджуваного фактора розраховується середня величина в балах:

$$M_j = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} C_{ij}. \quad (4)$$

При оцінці важливості окремих факторів варто звернути увагу на показник частоти максимально можливих оцінок (100 балів), отриманих за кожним фактором, який розраховується за формулою:

$$k_{100j} = \frac{m_{100j}}{m_j}, \quad (5)$$

де  $m_{100j}$  – кількість максимально можливих оцінок (100 балів), отриманих за  $j$ -м фактором;  
 $m_j$  – кількість експертів, що оцінили  $j$ -й фактор.

Показник  $k_{100j}$  може приймати значення від 0 до 1. Важливість  $j$ -го фактора збільшується при зростанні  $k_{100j}$  від 0 до 1.

Оскільки оцінки, поставлені кожним експертом окремим факторам, як правило, різняться, доцільно обчислювати також розмах оцінок за формулою:

$$L_j = C_{j\max} - C_{j\min}, \quad (6)$$

де  $L_j$  – розмах оцінок, в балах, поставлених експертами  $j$ -му фактору;

$C_{j\max}$ ,  $C_{j\min}$  – відповідно максимальна і мінімальна оцінки, поставлені експертами  $j$ -му фактору.

Середню вагу кожного фактора (нормовану оцінку) можна розраховувати за формулами:

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij}}, \quad W_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^n C_{ij}}, \quad (7)$$

де  $C_{ij}$  – оцінка  $j$ -му фактору  $i$ -м експертом;

$W_{ij}$  – вага  $j$ -го фактора за даними  $i$ -го експерта.

За відсутності даних про деякі фактори коефіцієнти вагомості решти розрахованих факторів збільшують наступним чином:

$$W_{ij\text{нове}} = W_{ij} + \frac{\sum_{i=1}^q \hat{W}_{ij}}{n-q}, \quad (8)$$

де  $W_{ij\text{нове}}$  – нове значення коефіцієнта вагомості;

$q$  – число відсутніх факторів з коефіцієнтами вагомості  $\hat{W}_{ij}$ .

Кінцевий висновок для прийняття рішення щодо вибору найприйнятніших факторів можливий лише за умови певного рівня узгодженості думок експертів.

Оцінка ступеня узгодженості думок експертів оцінюється коефіцієнтом конкордації, який визначається за формулою:

$$k_{\text{кон.}} = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j}{m_1^2 \cdot (n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m T_i}. \quad (9)$$

Відхилення  $d_j$  визначається за формулою:

$$d_j = \sum_{i=1}^m R_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n S_j}{n}, \quad T_i = \sum_{l=1}^L (t_l^3 - t_l), \quad (10)$$

де  $L$  – кількість груп зв'язаних рангів;

$t_l$  – кількість зв'язаних рангів в  $l$ -й групі.

Коефіцієнт конкордації може набувати значень від 0 до 1. У випадку повної узгодженості думок експертів  $k_{кон.}=1$ . Чим менше значення коефіцієнта конкордації  $k_{кон.}$ , тим слабша узгодженість думок експертів. Причиною низької узгодженості думок експертів може бути або дійсно відсутня спільність думок експертів, або існування серед експертів групи з високою узгодженістю думок, однак спільні думки їх протилежні.

Статистична істотність коефіцієнта конкордації перевіряється за критерієм Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^n d^2}{\left[ mn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m T_i \right]}, \quad (11)$$

де  $\chi_p^2$  розрахункове значення Пірсона.

Розрахункове значення критерію Пірсона  $\chi_p^2$  зіставляють з його табличним значення  $\chi_T^2$  для  $n-1$  ступенів свободи та довірчої ймовірності ( $P=0,95$  або  $P=0,99$ ). Якщо  $\chi_p^2 > \chi_T^2$ , то коефіцієнт конкордації істотний, якщо ж  $\chi_p^2 < \chi_T^2$ , то необхідно збільшити кількість експертів.

Чим нижчий рівень статистичної істотності коефіцієнта конкордації, тим більша ймовірність того, що має місце не випадкова узгодженість думок експертів.

Крім коефіцієнта конкордації, розкид думок експертів оцінюється також такими статистичними показниками, як:

- дисперсія оцінок, поставлених  $j$ -му фактору:

$$D_j = \sigma_j^2 = \frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=1}^{m_j} (C_{ij} - M_j)^2, \quad (12)$$

де  $M_j$  визначається за формулою (4).

- середньоквадратичне відхилення оцінок, поставлених  $j$ -му фактору:

$$\sigma_j = \sqrt{D_j}, \quad (13)$$

- загальна дисперсія оцінок:

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (M_j - M)^2, \quad M = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij}}{\sum_{j=1}^n m_j}, \quad (14)$$

- загальна дисперсія рангів:

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{S}_j - \bar{S})^2, \quad \bar{S} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m R_{ij}}{\sum_{j=1}^n m_j}, \quad (15)$$

- коефіцієнт варіації оцінок, даних  $j$ -му напрямку:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{M_j} \cdot 100\%. \quad (16)$$

**Результати числового експерименту із пошуку найбільш оптимальної конструкції ДМЗ.** До порівняльної оцінки та пошуку оптимуму було прийнято 8 конструкцій ДМЗ, що характеризувалися різними техніко-технологічними параметрами та мали різну кошторисну вартість. Слід зауважити, що значення різних критеріїв мали різний порядок, тому доцільно було нормувати їх, поділивши кожен критерій на його максимальне значення (табл.3).

Оцінка сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу конструкцій ДМЗ проводилася за методом колективної експертної оцінки. В рамках даного підходу до анкетування були залучені 8 провідних експертів у галузі дорожнього будівництва.

Таблиця 3. Вихідні дані для розрахунку найбільш оптимальної конструкції

	Відносна вартість	Коефіцієнт фільтрації	Відносний коефіцієнт інтенсивності водовідведення	Модуль пружності
Конструкція 1	1	0,877	0,545	1
Конструкція 2	0,785	0,877	1	1
Конструкція 3	0,975	1	0,545	1
Конструкція 4	0,760	1	1	1
Конструкція 5	0,924	0,097	0,545	0,870
Конструкція 6	0,709	0,097	1	0,870
Конструкція 7	0,973	0,431	0,545	0,862
Конструкція 8	0,758	0,431	1	0,862

Експертами було визначено 5 основних техніко-технологічних параметрів, що на їх думку впливають на роботу конструкцій ДМЗ:

1. Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи.
2. Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї.
3. Модуль пружності дорожнього одягу.
4. Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів під час експлуатації або від впливу дорожніх машин при влаштуванні.
5. Замулювання дренажної траншеї.

Узагальнення та ранжування отриманих даних анкетного опитування експертів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Дані анкетування про відносну важливість техніко-технологічних параметрів конструкцій ДМЗ

	Показник	Експерти									
			1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
1	Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи	бал	70	40	40	30	40	70	70	50	410
		ранг	3,5	3,5	5	4,5	3,5	4	3	4,5	31
2	Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї	бал	70	40	80	50	40	80	60	60	480
		ранг	3,5	3,5	3	3	3,5	2,5	4	3	25,5
3	Модуль пружності дорожнього одягу	бал	100	60	80	100	70	90	80	95	675
		ранг	1	1,5	3	1	2	1	2	1	12
4	Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів під час експлуатації або від впливу дорожніх машин при влаштуванні	бал	80	60	90	80	100	80	100	80	670
		ранг	2	1,5	1	2	1	2,5	1	2	12,5
5	Замулювання дренажної траншеї	бал	40	20	40	30	30	50	50	50	310
		ранг	5	5	5	4,5	5	5	5	4,5	38,5

На основі даних таблиці 4 були розраховані показники для порівняльної оцінки відносної важливості розглядуваних факторів за формулами (1) – (7). Результати представлено в таблиці 5.



Таблиця 5. Показники порівняльної важливості техніко-технологічних параметрів конструкцій ДМЗ

Показник	Техніко-технологічні параметри ДМЗ				
	1	2	3	4	5
Сума рангів	31,00	25,50	12,00	12,50	38,50
Середній ранг	3,875	3,1875	1,5	1,5625	4,8125
Середнє значення в балах	51,25	60	84,375	83,75	38,75
Частота максимально можливих оцінок	0	0	0,25	0,25	0
Середня вага (нормована оцінка)	0,160	0,187	0,267	0,267	0,120
Коефіцієнт активності експертів	1	1	1	1	1
Розмах	40	40	40	40	30

Таким чином, пріоритетність факторів, що визначають техніко-технологічні показники конструкцій ДМЗ та відповідні їм коефіцієнти вагомості наступні (у порядку зниження пріоритетності (табл.6)).

Таблиця 6. Рейтингування техніко-технологічних показників роботи конструкцій ДМЗ за даними колективної експертної оцінки

Рейтинг	Техніко-технологічний показник	Коефіцієнт вагомості
1	Модуль пружності дорожнього одягу	0,2671
2	Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів під час експлуатації або від впливу дорожніх машин при влаштуванні	0,2667
3	Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї	0,187
4	Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи	0,1596
5	Замулювання дренажної траншеї	0,1196

З метою оцінки ступеня узгодженості думок експертів було визначено ряд статистичних числових характеристик за формулами (12) – (16) та розраховано коефіцієнт конкордації (табл.7)

Таблиця 7. Статистичні характеристики для оцінки ступеня узгодженості колективної думки експертної групи

Показник	Техніко-технологічні параметри конструкцій ДМЗ				
	1	2	3	4	5
Дисперсія оцінок	269,64	257,14	210,27	169,64	126,79
Середньоквадратичне відхилення оцінок	16,42	16,04	14,50	13,02	11,26
Коефіцієнт варіації оцінок	32,04	26,73	17,19	15,55	29,06
Загальна дисперсія оцінок	258,37				
Коефіцієнт конкордації	0,89				
Розрахункове значення критерію Пірсона	28,49				
Табличне значення критерію Пірсона	довірча ймовірність P=0,95			9,49	
	довірча ймовірність P=0,99			13,28	

Значення коефіцієнта конкордації  $k_{\text{кон.}} = 0,89$  свідчить про високий рівень узгодженості думок експертів щодо важливості і пріоритетності факторів, що визначають техніко-технологічні показники конструкцій ДМЗ.

Так як розрахункове значення критерію Пірсона  $\chi_p^2 = 28,49$  перевищує його табличне значення, причому як для довірчої імовірності  $P=0,95$  ( $\chi_p^2 = 9,49$ ) так і для довірчої імовірності  $P=0,99$  ( $\chi_p^2 = 13,28$ ), то можна зробити висновок про статистичну значимість коефіцієнта конкордації і високий рівень довіри до колективної думки даної експертної групи.

Варто відзначити, що для досліджуваних конструкцій ДМЗ на даний час технологічні параметри 4 та 5 знаходяться ще в процесі дослідження та накопичення необхідної емпіричної інформації. Тому, значення коефіцієнтів вагомості необхідно уточнити на основі формули (8) (табл.8).

Таблиця 8. Уточнення коефіцієнтів вагомості техніко-технологічних параметрів конструкцій ДМЗ

Показники	1	2	3	4	5	Сума
З урахуванням 5-ти показників	0,160	0,187	0,267	0,267	0,120	1
З виключенням показників 4 і 5	0,288	0,316	0,396	---	---	1

Таким чином, для досліджуваних 8-и конструкцій ДМЗ отримаємо наступні результати (табл. 9).

Таблиця 9. Визначення критеріїв та значень цільової функції для конструкцій ДМЗ

Конструкція	Вартість	Коефіцієнт Фільтрації	Коефіцієнт інтенсивності водовідведення	Модуль пружності	Сума техніко- технологічних показників	Значення цільової функції
		Коефіцієнти вагомості				
		0,288	0,316	0,396		
Конструкція 1	1,000	0,253	0,172	0,396	0,821	1,218
Конструкція 2	0,785	0,253	0,316	0,396	0,964	0,814
Конструкція 3	0,975	0,288	0,172	0,396	0,856	1,138
Конструкція 4	0,760	0,288	0,316	0,396	1,000	0,760
Конструкція 5	0,924	0,028	0,172	0,344	0,545	1,697
Конструкція 6	0,709	0,028	0,316	0,344	0,688	1,031
Конструкція 7	0,973	0,124	0,172	0,341	0,638	1,525
Конструкція 8	0,758	0,124	0,316	0,341	0,781	0,970

Аналіз таблиці 9 показує, що цільова функція, визначена за формулою (1) набуває свого мінімального значення для конструкції 4 із розглядуваних 8 конструкцій ДМЗ. Отже, саме цю конструкції і можна рекомендувати проектувальникам в якості найбільш оптимальної, що має найкращі техніко-технологічні показники у співвідношенні до її кошторисної вартості.

**Висновки.** 1. Визначено цільову функцію для пошуку найбільш оптимальної конструкції ДМЗ за 2 групами критеріїв: кошторисною вартістю та сукупністю техніко-технологічних показників, що характеризують ефективність їх роботи.

2. За методом колективної експертної оцінки проведено математичну обробку даних анкетного опитування експертів у галузі дорожнього будівництва для виявлення та ранжування сукупності техніко-технологічних параметрів, що визначають роботу конструкцій ДМЗ. Виділено 5 основних показників, що є суттєвими та впливають на роботу ДМЗ:

1. Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи.



2. Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї.
3. Модуль пружності дорожнього одягу.
4. Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів під час експлуатації або від впливу дорожніх машин при влаштуванні.
5. Замулювання дренажної траншеї.

Проведений аналіз колективної думки експертів показав, що експерти схильні вважати найбільш суттєвими у роботі конструкцій ДМЗ модуль пружності дорожнього одягу та стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів під час експлуатації або від впливу дорожніх машин при влаштуванні. Меншого значення експерти надали таким показникам як: інтенсивність водовідведення дренажної траншеї, усередненому коефіцієнту фільтрації шарів основи та замулюванню дренажної траншеї.

Значення коефіцієнта конкордації  $k_{\text{кон.}} = 0,89$  свідчить про високий рівень узгодженості думок експертів щодо важливості і пріоритетності факторів, що визначають техніко-технологічні показники конструкцій ДМЗ.

Розрахункове значення критерію Пірсона.  $\chi_p^2 = 28,49$  перевищує його табличне значення як для довірчої імовірності  $P=0,95$  ( $\chi_p^2 = 9,49$ ) так і для довірчої імовірності  $P=0,99$  ( $\chi_p^2 = 13,28$ ), то можна зробити висновок про статистичну значимість коефіцієнта конкордації і високий рівень довіри до колективної думки даної експертної групи.

3. Із восьми запропонованих конструкцій ДМЗ було обґрунтовано та рекомендовано до проектування найбільш оптимальну з найкращими техніко-технологічними характеристиками при її мінімальній кошторисній вартості (значення цільової функції 0,76).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Binh Vuong (2007). Measuring, Predicting and Specifying Moisture in Granular Pavements with Thin Bituminous Surfacing, Road Materials and Pavement Design, 8:4, 695-718, DOI: 10.1080/14680629.2007.9690095;
2. Han-Cheng Dan, Jia-Wei Tan, Zhi Zhang & Lin-Hua He (2017).Modelling and estimation of water infiltration into cracked asphalt pavement, Road Materials and Pavement Design, 18:3, 590-611, DOI: 10.1080/14680629.2016.1182057;
3. Zhijun Liu (2015). Influence of rainfall characteristics on the infiltration moisture field of highway subgrades, Road Materials and Pavement Design, 16:3, 635-652, DOI: 10.1080/14680629.2015.1021370;
4. Грабовецький, Б. Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б. Є. Грабовецький. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 171 с.  
<http://hrabovecky.vk.vntu.edu.ua/file/a0a40b7bd74c5d39fe693b7b2c99f38f.pdf>